



PC

BEST AVAILABLE COPY

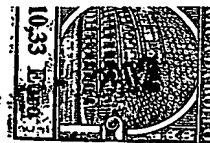
**Dr.ssa Paola Giuliano**

**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**

# AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHE - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE. DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO



## A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione Fabio Biscarini N.E. PF  
 Residenza Via Brunelli 4, Bologna (BO) codice BSCFBA62D15G478D  
 2) Denominazione MASSIMILIANO CAVALLINI N.E. PF  
 Residenza VIA LUCCA 62 VERGATO BOLOGNA codice CNLSRGAB1919800

## B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome \_\_\_\_\_ cod fiscale \_\_\_\_\_  
 denominazione studio di appartenenza \_\_\_\_\_  
 via \_\_\_\_\_ a. \_\_\_\_\_ città \_\_\_\_\_ cap \_\_\_\_\_ (prov) \_\_\_\_\_

## C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario

Fabio Biscarini c/o Consiglio Nazionale delle Ricerche - ISMN Sez. Bologna  
 via P. Gobetti a. 401 città Bologna cap 40129 (prov) BO

## D. TITOLO

Procedimento per lo stoccaggio di informazione ad ultra-alta densità su film sottili di molecole bistabili

ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO: SÌ ☐ NO ☒

## E. INVENTORI DESIGNATI

1) Fabio Biscarini cognome nome \_\_\_\_\_  
 2) Massimiliano Cavallini cognome nome \_\_\_\_\_  
 3) David A. Leigh cognome nome \_\_\_\_\_  
 4) Francesco Zerbetto cognome nome \_\_\_\_\_

## F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione \_\_\_\_\_ tipo di priorità \_\_\_\_\_ numero di domanda \_\_\_\_\_ data di deposito \_\_\_\_\_ allegato S/A \_\_\_\_\_  
 1) \_\_\_\_\_  
 2) \_\_\_\_\_

## G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA CULTURE DI MICROORGANISMI, denominazione

## H. ANNOTAZIONI SPECIALI

I titolari partecipano ai diritti del brevetto nelle seguenti misure: Fabio Biscarini 30%; Massimiliano Cavallini 30%;  
 David A. Leigh 30%; Francesco Zerbetto 10%,  
 ai sensi dell'art. 19 R.D. 1127/39

## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es. \_\_\_\_\_  
 Doc. 1) ☒ PROV n. pag 20 riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio 1 esemplare) \_\_\_\_\_  
 Doc. 2) ☒ PROV n. tav 7 disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare) \_\_\_\_\_  
 Doc. 3) ☐ RS lettera d'incarico, procura o riferimento procura generale \_\_\_\_\_  
 Doc. 4) ☐ RS designazione inventore \_\_\_\_\_  
 Doc. 5) ☐ RS documenti di priorità con traduzione in italiano \_\_\_\_\_  
 Doc. 6) ☐ RS autorizzazione o atto di cessione \_\_\_\_\_  
 Doc. 7) ☐ nominativo completo del richiedente \_\_\_\_\_

SCIOGLIMENTO RISERVE	
Data	N° Protocollo
____/____/____	____/____/____
____/____/____	____/____/____
____/____/____	____/____/____
____/____/____	____/____/____
confronto singole priorità	
____/____/____	____/____/____

8) attestati di versamento, totale lire 291.80 euro

COMPILATO IL 12/10/2002

FIRMA DEL(I) RICHIEDENTE(I)

CONTINUA S/NO NO

DEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA S/NO SI

CAMERA DI COMMERCIO I.A.A. DI

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA BO2002A 000759 Reg.A

L'anno millenovecento

DUEMILADUE

il giorno

QUATTRO

del mese di

DICEMBRE

Il(i) richiedente(i) sopraindicato(i) ha(hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di n. 04 fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraindicato.

## I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE

NESSUNA

IL DEPOSITANTE

Fabio Biscarini

timbro  
dell'Ufficio

L'UFFICIALE ROGANTE

F. Zerbetto

## A. RICHIEDENTE (1)

03	Denominazione	DAVID A. LEIGH	N.S.
	Residenza	13 GREAT STUART ST. EDINBURGH SCOTLAND	RP
04	Denominazione	FRANCESCO ZERBETTO	
	Residenza	STRADA MAGGIORE 14 BOLOGNA	RP
	Denominazione		
	Residenza		
	Denominazione		
	Residenza		
	Denominazione		
	Residenza		
	Denominazione		
	Residenza		
	Denominazione		
	Residenza		

## E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome		cognome nome	

## F. PRIORITA

nazione o organizzazione	tipo di priorit�	numero di domanda	data di deposito	allegato S/R	SCIOGLIMENTO RISERVE
					Data N� Protocollo

FIRMA DEL (1) RICHIEDENTE (1)

David A. Leigh Francesco Zerbetto

NUMERO DOMANDA

2002A 0000058

REG. A

DATA DI DEPOSITO

04/12/2002

NUMERO BREVETTO

DATA DI RILASCIO

A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione

Fabio Biscarini

Residenza

Via U. Brunelli 4, I-40134 Bologna (BO)

D. TITOLO

PROCEDIMENTO PER LO STOCCAGGIO DI INFORMAZIONE AD ULTRA-ALTA DENSITA' SU FILM SOTTILI DI MOLECOLE BISTABILI

Classe proposta (sez./cl./scd/)

(gruppo/sottogruppo)

L. RIASSUNTO

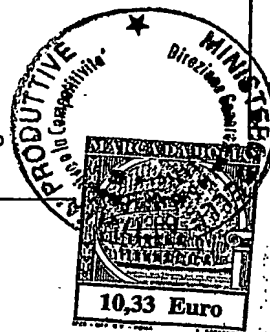
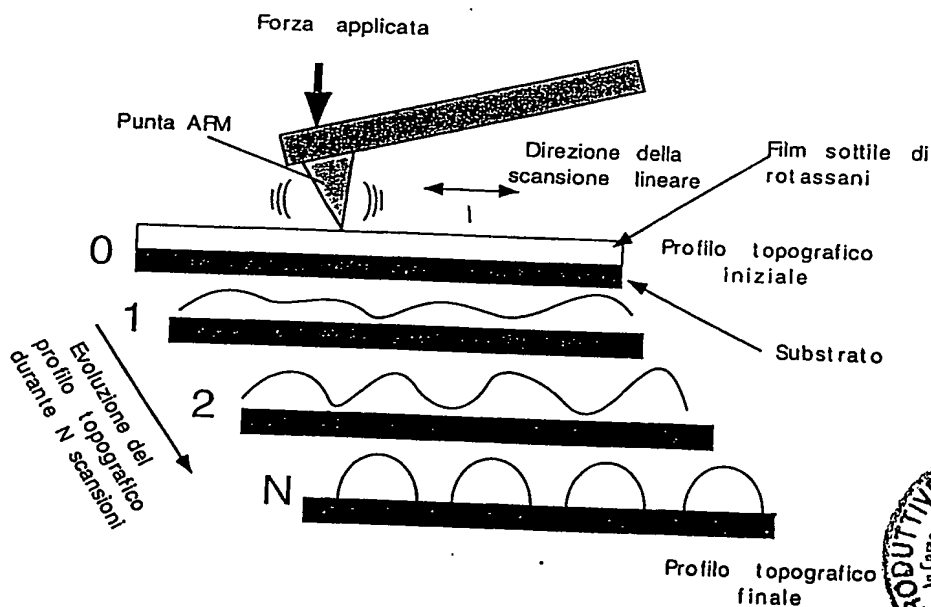
L'invenzione riguarda un processo per la scrittura di informazione ad ultra-alta densità su film sottili di molecole organiche bistabili, denominate rotassani.

L'informazione viene stoccata in maniera analoga ad un abaco, sotto forma di stringhe di strutture puntiformi di dimensioni nanometriche (nanostrutture) regolarmente spaziate.

La scrittura avviene tramite una perturbazione meccanica localizzata che agisce solamente per tutta la lunghezza della stringa. Periodicità e dimensione delle nanostrutture sono controllate dallo spessore del film sottile, mentre il numero delle nanostrutture lungo una stringa dipende esclusivamente dalla lunghezza della stringa.

Il processo viene dimostrato con due diverse sorgenti di perturbazione meccanica del film: i) una punta di un microscopio a scansione di forza (denominato anche microscopio a forza atomica AFM); ii) uno stampo corrugato. Viene dimostrata la possibilità di scrivere nanostrutture larghe 40 nm, alte 1.5 nm, e con periodicità di 100 nm. Questi valori corrispondono ad una densità areale di scrittura di 10-100 Gigabit per pollice quadrato.

M. DISEGNO



IB. MC. FZ DL

PROCEDIMENTO PER LO STOCCAGGIO DI INFORMAZIONE AD  
ULTRA-ALTA DENSITA' SU FILM SOTTILI DI MOLECOLE  
BISTABILI

Fabio Biscarini<sup>1</sup> , Massimiliano Cavallini<sup>2</sup>, David A. Leigh<sup>3</sup>,  
Francesco Zerbetto<sup>4</sup>

1. Via Brunelli 4, I-40134 Bologna
2. Via Lucca<sup>62</sup>, Vergato I-40038 (BO)
3. 13 Great Stuart Street, EH3 7TP, Edinburgh, Scotland (UK)
4. Strada Maggiore 14, I-40125 Bologna

\* \* \*

DESCRIZIONE

La presente invenzione descrive un processo per la scrittura di informazione ad ultra-alta densità tramite fabbricazione di stringhe di strutture di dimensioni nanometriche (nanostrutture) costituite da molecole organiche bistabili, denominate rotassani. Viene dimostrata la possibilità di scrivere informazione su film sottili di rotassani in forma di stringhe di nanostrutture regolarmente spaziate. La minima periodicità dimostrata è di 100 nm, la larghezza di 40 nm, l' altezza di pochi nm. La densità areale di scrittura dimostrata è 10-100 GBits/in<sup>2</sup> (Gbps). La scrittura è stata effettuata su un' area di decine di migliaia  $\mu\text{m}^2$ , esclusivamente per limiti strumentali.

Il campo di applicazione di questa invenzione è quello dei mezzi per lo stoccaggio di informazione ad ultra-alta

F.B. M.C. FZ QL

densità. I settori di applicazione principali in questo campo sono a) sistemi di back-up e b) elettronica di consumo.

L'invenzione permette lo stoccaggio di informazione non volatile su un materiale soffice, con densità comparabile o superiore alle tecnologie stato dell'arte e a bassissimo costo. Il disco ottico Blue Ray (tecnologia DVD ma con laser a semiconduttore blue invece di rosso) sviluppato da un consorzio di nove grandi industrie dell'elettronica di consumo, raggiunge densità areale di 10-20 Gbps. La competizione principale alla tecnologia Blue Ray sono tecniche olografiche, protette estensivamente da brevetti IBM. Ad oggi, questi sistemi non si sono dimostrati sufficientemente stabili a temperatura ambiente. Nel caso di tecnologie magnetiche (hard disks), Nanomagnetics ha dimostrato 12 Gbps mentre 50 sono l'obiettivo nel breve termine. Seagate ha dimostrato stoccaggio di 100 Gbps con architettura HDD verticale, che potrebbe entrare in produzione nel 2004.

Altre applicazioni della presente invenzione sono memorie flash per telefoni cellulari, dispositivi e circuiti logici a perdere, identificazione.

Questi ed altri scopi che risulteranno chiari dalla lettura della descrizione seguente vengono raggiunti da un processo e un materiale come definiti nelle rivendicazioni.

IB MC FZ GL

## STATO ANTERIORE DELLA TECNICA

Le nuove tecnologie per lo stoccaggio di dati ed informazione hanno come obbiettivo il raggiungimento del Terabit per pollice quadrato (Tbpsi), ovvero la scrittura di mille miliardi di bit per pollice quadrato.

I dischi rigidi magnetici (hard disk drives HDD) sono ad oggi la tecnologia dominante per lo stoccaggio dei dati. La massima densità areale di stoccaggio dimostrata in HDD con architettura verticale è 100 Gbits per pollice quadrato (Gbps). Attualmente, HDD commerciali hanno una capacità inferiore ai 50 Gbps. Sebbene negli ultimi anni si sia verificato un aumento della densità di bit negli HDD pari al 60-100% all'anno, si ritiene che il limite dei 100 Gigabits per pollice quadrato non sia superabile con la tecnologia magnetica. Oltre questo limite, gli effetti di correnti superparamagnetiche potrebbero introdurre un'incertezza nella densità di scrittura/lettura magnetica.

Sono stati proposti diversi metodi di scrittura di informazione alternativi ai HDD, che permettano di raggiungere il limite del Tbpsi, e al tempo stesso mantengano la potenza dissipata confrontabile con quella dei sistemi magnetici. I microscopi a scansione di sonda (SPM) sono stati usati come strumenti per la scrittura/lettura di dati su varie superfici. I bits possono essere costituiti da inomogeneità puntiformi su superfici altresì piate, come ad esempio buchi o protuberanze. L'altissima risoluzione

LB MC FZ DL

laterale dei microscopi SPM permette la scrittura/lettura di nanostrutture con una densità di 1 bit per nanometro quadrato, corrispondente a centinaia di Terabit per pollice quadrato. Questa formidabile densità è raggiungibile su superfici atomicamente piatte di cristalli singoli ed utilizzando condizioni di ultra-alto vuoto, che non sono tecnologicamente interessanti. Inoltre, i microscopi SPM lavorano in maniera tipicamente seriale e la velocità scrittura/lettura dati è limitata dalla velocità di scansione della punta sulla superficie. Per un SPM con singola punta, la velocità massima di scrittura è 50 Kilobits per secondo (1Mbit/s in lettura). La bassa velocità dati rende i metodi SPM troppo lenti per scrittura di massa.

Negli ultimi dieci anni è stato sviluppato un metodo parallelo basato su SPM presso i laboratori di ricerca dell'IBM Zurigo. Il metodo è un processo termomeccanico effettuato con uno dispositivo vettoriale a leve multiple, denominato "millepiedi". Ogni leva del millepiedi è indirizzabile individualmente, e integra una punta resistiva in grado di sviluppare calore quando viene applicata ad essa una tensione opportuna. La scrittura avviene per indentazione della punta calda in un film polimerico termoplastico. Quest'ultimo si deforma, generando una buca (1 bit). Il processo di lettura avviene misurando la differenza tra il calore dissipato quando la punta passa sopra una buca rispetto a quello dissipato sul film no

YCB MC F2 DL





inciso. Le molteplici leve che scrivono e/o leggono contemporaneamente rendono la tecnica di tipo parallelo ed applicabile su larga area. La velocità è inversamente proporzionale al tempo di indentazione e direttamente proporzionale al numero di leve. E' stato dimostrato che questo processo può supportare velocità di scrittura/lettura di 1-2 Megabites/s con migliaia di leve nel millepiedi. I bassi valori di potenza necessari al processo (circa 100 mW), dovuti ai piccolissimi spostamenti ed al piccolissimo volume del bit, rendono il processo competitivo rispetto alla tradizionale scrittura magnetica nel campo delle "flash memory". Gli svantaggi della tecnologia millepiedi sono diversi: ogni singola leva può scrivere un solo bit alla volta, la presenza di leve malfunzionanti genera aree non accessibili, ed è critica la planarità del film polimerico essendo il millepiedi un sistema passivo senza retroazione.

Altri processi SPM permettono di scrivere informazioni generando nanostrutture puntiformi su una superficie piana. Tra queste, la tecnica che ha raggiunto la densità areale più elevata è l'ossidazione locale di una superficie di silicio ricoperta di ossido nativo, utilizzando una punta AFM conduttiva. La tecnica può scrivere e leggere nanostrutture alte 1 nm, large 20 nm e distanti 50 nm tra loro. L'irreversibilità del processo di ossidazione rende questa tecnica di stoccaggio non riscrivibile.

JB MC FZ QL

L'obbiettivo di questa invenzione è quello di utilizzare film sottili molecolari multistabili, che possano essere convertiti in modo controllato tra diverse configurazioni di energia comparabile, per scrivere informazione. La multistabilità è intrinsecamente presente in un'ampia varietà di sistemi molecolari e supramolecolari e si manifesta in diverse proprietà (conformazioni, co-conformazioni, stati di ossidazione, momento di spin, forme e dimensioni, morfologia). La conversione tra stati può essere indotta da stimoli esterni meccanici, elettrici, termici, radiativi. Solitamente questi cambiamenti si manifestano a livello di singole molecole o aggregati di poche molecole. Nel caso dell'invenzione descritta a seguito, questi cambiamenti vengono trasdotti ed amplificati su scale spaziali più grandi per potere essere letti.

Il mezzo di stoccaggio dell'informazione è costituito da un film sottile di molecole bistabili denominate rotassani. I rotassani sono molecole costituite da un macrociclo racchiuso attorno ad una catena lineare e bloccato sulla catena da due gruppi ad elevato ingombro sterico. Esempi di rotassani usati per la dimostrazione del processo sono mostrati nello schema in Figura 1. La loro sintesi viene descritta in diverse pubblicazioni di uno degli inventori (DAL). Vari studi, soprattutto in soluzione, dimostrano la multistabilità delle co-conformazioni di questa classe di molecole. L'architettura dei rotassani, simile ad un abaco, ha suggerito che possano

LB MC F2 DL

essere usati come macchine ed interruttori molecolari nello stato solido. Il controllo degli interruttori molecolari nello stato solido è una possibile via per scrivere informazione, a condizione di amplificarne o trasdurne gli effetti a scale spaziali maggiori. Altre molecole bistabili che potrebbero essere utilizzate similmente ai rotassani sono catenani, in cui due macrocicli sono interconnessi tra loro.

L'invenzione a seguito descritta consiste in un processo collettivo che permette di scrivere in modo controllato, riproducibile ed a posizioni ben definite, nanostrutture su un film di rotassani. Il processo permette di ottenere densità di stoccaggio dell'ordine dei 100 Gbps per film sottili di spessore inferiore ai 5 nm. Un'ulteriore innovazione del metodo consiste nel fatto che le nanostrutture vengono scritte simultaneamente e non individualmente, come avviene nel caso di tecnologie SPM.

Il meccanismo di formazione delle nanostrutture (e quindi di scrittura dei bit) coinvolge una ri-organizzazione molecolare collettiva indotta da una perturbazione esterna localizzata. La perturbazione localizzata fornisce alle molecole nel film sottile l'energia per ri-organizzarsi. La dimensione e la distanza tra le nanostrutture dipendono dallo spessore del film e dall'area su cui la perturbazione agisce, ma non dipende dal tipo di sorgente di perturbazione.

Il processo è dimostrato utilizzando una perturbazione meccanica operata tramite un microscopio a forza atomica

LB MC FZ DL

(AFM) con scansioni lineare, ed ha quindi, in questa accezione, le limitazioni tipiche in termini di velocità dati delle tecniche SPM. Tuttavia, il processo si presta ad essere riscaldato alla tecnica millepiedi, o più semplicemente ed efficacemente ad una qualsiasi sorgente di perturbazioni multiple, come uno stampo. L'efficacia del processo viene dimostrata usando uno stampo i cui motivi sono costituiti da una serie di linee parallele.

Questo processo è utilizzabile per scrivere memorie di tipo non-volatile o in dischi registrabili con densità 10 volte superiori alla tecnologia DVD stato dell'arte. Altri punti di forza della presente invenzione sono il basso costo dei materiali e la semplicità di formazione dei film sottili. L'uso di materiale soffice rende possibile la trasferibilità del mezzo anche su supporti flessibili e non-convenzionali.

I principali brevetti riguardanti diversi tipi di processi per la scrittura di memorie su film sottili organici sono:

- Chou, United States Patent 5,772,905 June 30, 1998 "Nanoimprint lithography"
- Binnig et al., United States Patent 5,835,477 November 10, 1998 "Mass Storage Application of Local Probe Arrays"
- Sandhu et al., United States Patent 6,358,756 March 19, 2002 "Self-aligned, magnetoresistive random-access memory (MRAM) structure utilizing a spacer containment scheme"

LB MC FZ JL



- Zhou et al. United States Patent 6,222,755; April 24, 2001 "Solid state holographic memory"

- Hua et al. United States Patent 6,214,431 April 10, 2001 "Optical data storage materials for blue-light DVD-R"

- Cavallini e Biscarini, Brevetto Italiano MI2002A001961, 16/9/2002: "Procedimento per la fabbricazione ed il controllo mediante stampaggio su scale micro- e nanometriche di strutture e motivi di sostanze solubili e colloidali con riduzione delle dimensioni dei motivi dello stampo"

#### ANALISI DEL RISULTATO

La presente invenzione si basa su un nuovo fenomeno fisico che può essere indotto e controllato in film sottili di rotassani tramite una perturbazione localizzata. La perturbazione, in questo caso meccanica, è una forza, di natura dissipativa, che agisce sul film sottile in regioni spazialmente definite. Al di sotto di questa forza, nulla accade al film. Al di sopra, il film risulta danneggiato. L'effetto di questa perturbazione locale è quello di indurre una ri-organizzazione delle molecole che si manifesta con un cambiamento locale della morfologia. Quando la perturbazione avviene lungo una linea (ad esempio una punta AFM che si muove in una scansione lineare) tale cambiamento genera le nanostrutture che si auto-organizzano lungo la linea stessa. Le nanostrutture sono caratterizzate da spazature e dimensioni specifiche, che vengono controllate dallo spessore

Y.B MC FZ DL

del film. Il numero di nanostrutture è governato dalla lunghezza della linea soggetta alla perturbazione.

Nel processo di questa invenzione il mezzo di scrittura è un film sottile di rotassano depositato su un substrato, che può essere preso tra diversi materiali: grafite pirolitica altamente orientata, mica, metalli, polimeri, silicio, vetro, ossido di stagno-indio (ITO), ossidi perovskitici (manganiti). La deposizione del film può essere effettuata con qualsiasi tecnica che permetta un controllo dello spessore del film su larga area: deposizione da soluzione, spin casting, evaporazione in vuoto o ultra alto vuoto, autoassemblamento.

Il processo è dimostrato per film di spessore compreso tra 3 e 35 nm è comunque valida l'applicazione a qualsiasi altro spessore. Un film di rotassani opportunamente preparato si presenta omogeneo sull'intera superficie e con bassa rugosità (rugosità r.m.s.  $< 2$  nm). Il film è stabile in condizioni ambientali (in aria a temperatura e umidità ambientali, esposto alla luce). Ad un indagine morfologica con l'AFM, un film sottile preparato da 6 mesi non mostra alcuna differenza rispetto ad un film appena fatto.

#### DESCRIZIONE DEL PROCESSO DINAMICO

Il film può essere osservato con un microscopio AFM in contatto utilizzando forze di carico inferiori ad un valore di soglia stimata tipicamente in 2 nN. Questo valore di soglia può dipendere dal tipo di punta utilizzato e dalla sua

JB MC FZ DL

eventuale contaminazione. Applicando forze di carico appena superiori al valore di soglia, si produce una perturbazione meccanica il cui effetto è localizzato all'area di contatto della punta. Passando più volte la punta lungo linea, l'energia trasferita dalla punta al film per attrito determina una transizione morfologica che si manifesta con la comparsa di nanostrutture egualmente spaziate lungo la linea. Il risultato è che la punta scrive strighe di nanostrutture spaziate regolarmente. Questo processo è illustrato schematicamente in Figura 2.

Tipicamente, per il completamento del processo, utilizzando punte di nitruro di silicio, sono necessari da 4 a 20 passaggi per una frequenza compresa tra 1 e 5 Hz. Il parametro determinante è il tempo di permanenza della punta a contatto con il film, di conseguenza l'uso di frequenze di scansione più alte richiede un maggior numero di passaggi. Il tempo di trasformazione è calcolato in ordine di alcune decine di  $\mu s$ . Una volta completata la trasformazione, l'ulteriore passaggio della punta sulle nanostrutture non provoca più alcun cambiamento. E' indicata la seguente legge fenomenologica che lega il numero di passaggi alla velocità di passaggio valida per una punta incontaminata di nitruro di silicio applicando una forza pari a quella di soglia:

$$\text{const} = nv$$

dove  $n$  è il numero di passaggi,  $v$  velocità di passaggio espressa in Hz.

J.B. MC FZ DL

Portando la forza di carico al di sopra di 4 nN si danneggia il film irreversibilmente asportando materiale.

In Figura 3 sono mostrati alcuni esempi di scrittura di nanostrutture su una superficie di film sottili, utilizzando la molecola di tipo 1 (vedi schema Figura 1) su un substrato di grafite.

Figura 3a mostra un reticolo di nanostrutture larghe 35 nm disposte su un reticolo quadrato di passo 140 nm. Questo reticolo è stato generato su un film di 5 nm di spessore operando scansioni nelle condizioni di scrittura descritte sopra lungo linee singole e parallele tra loro.

Figura 3b mostra l'applicazione del processo di scrittura su un'area di  $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ , con 31 linee di 45 nanostrutture ciascuna. Inoltre, l'immagine dimostra che la presenza dei tipici difetti della superficie, incluso terrazze, non compromettono il processo. Questa area è limitata nel caso specifico dalle dimensioni massime di scansione del posizionatore piezoelettrico montato sull'AFM. Quindi il processo di scrittura si presta ad essere esteso su larghe aree.

Nella figura 3c è mostrato in una immagine AFM di un film sottile di 25 nm di spessore come il numero di nanostrutture è direttamente proporzionale alla lunghezza della linea dove la perturbazione agisce.

La figura 3d dimostra l'applicazione nella scrittura di un informazione sul film; in particolare è stata scritta la

L.B. M.C. FZ DL





sequenza di nanostrutture: "e-c-7-a-8" in linguaggio esadecimale che corrisponde al numero 968616.

In Figura 4 è esplicitata la relazione lineare tra numero di nanostrutture e lunghezza della linea perturbata come da Figura 3c. Questo implica che, una volta fissato lo spessore del film, il numero delle nanostrutture può essere predeterminato con precisione in base alla lunghezza della linea di scansione. La relazione lineare è del tipo  $N=aL$ , dove  $N$  è il numero di nanostrutture e  $L$  la lunghezza della linea perturbata. Nell'esempio in Figura 4, il migliore fit lineare fornisce  $N= 0.453(\pm 0.006 \mu\text{m}^{-1}) L$ . Il valore esatto dipende dallo spessore del film sottile. L'errore sul numero di nanostrutture viene calcolato per propagazione dell'errore, per cui  $\Delta N = \Delta a L + L \Delta a$ . Il secondo termine risulta trascurabile per l'accuratezza del posizionamento laterale in un AFM (limitata dal convertitore D/A che pilota l'attuatore piezoelettrico, tipicamente a 18 bit). Ne consegue che  $\Delta N/N = \Delta a/a = 1.32\%$ . Quindi l'accuratezza nella scrittura è migliore del 2%.

In Figura 5 vengono riportati i valori della interdistanza tra nanostrutture, diametro delle nanostrutture ed spessore delle nanostrutture in funzione dello spessore del film nel caso del rotassano 1 cresciuto su grafite. Dimensione e spaziatura delle nanostrutture dipendono linearmente dallo spessore del film:

$$P=\alpha D ; R=\beta D ; h=\gamma D$$

L.B. M.C. FZ DL

dove  $D$  è lo spessore del film,  $P$  è la spaziatura (distanza caratteristica) tra le nanostrutture,  $R$  il diametro delle nanostrutture, ed  $h$  l'altezza delle nanostrutture rispetto al film non perturbato. I film più sottili che siamo riusciti a realizzare sono di 3 nm, e danno origine a strutture con  $R=20$  nm,  $h=1.5$  nm, e  $P=110$  nm. L'errore stimato su statistiche di circa 100 nanostrutture è del 10-20%. Per un monostrato di rotassano, di spessore circa 1 nm, ci si può aspettare una periodicità di circa 90 nm sulla base dell'estrapolazione in Figura 5. Questa corrisponderebbe ad una densità massima di scrittura pari a circa 80 Gbps.

#### DESCRIZIONE DEL PROCESSO STATICO

La perturbazione meccanica che fornisce l'energia necessaria alla riorganizzazione che porta alla comparsa delle nanostrutture può anche essere indotta in modo statico tramite uno stampo.

Il processo è indicato schematicamente in Figura 6. Lo stampo viene posto in contatto con il film di rotassano, viene quindi applicata un'opportuna pressione (dell'ordine di 1 Kg/cm<sup>2</sup>). Il tempo di processo, stimato in pochi secondi, dipende dal materiale dello stampo, dalle dimensioni dei motivi dello stampo, dallo spessore del film e dal particolare tipo di rotassano usato. La velocità di scrittura con il metodo statico dipende altresì dalla dimensione dei motivi dello stampo.

J.B. M.C. FZ DL

In Figura 7 l'immagine con il microscopio a forza atomica mostra il risultato della riorganizzazione morfologica a seguito del processo statico. Il processo è applicato ad un film di rotassano 1 depositato su grafite. Lo stampo, consiste di una sequenza di linee parallele larghe 400 nm e spesse 100 nm, ricoperte da un film sottile di oro. La pressione applicata è  $2.5 \text{ Kg/cm}^2$ . Il risultato è che in corrispondenza delle protuberanze, ovvero dove lo stampo esercita la forza di carico sul film, il film si trasforma dando origine ad una sequenza di nanostrutture lungo tutta la lunghezza delle linee dello stampo. Fabbricando opportuni stampi con linee di lunghezza diverse, si possono quindi generare numeri diversi di nanostrutture lungo ciascuna linea, secondo la lunghezza rispettiva, e quindi modulare spazialmente l'informazione.

L'applicazione del metodo statico permette quindi di trasferire in pochi secondi l'intera informazione contenuta in un disco con una risoluzione potenzialmente dell'ordine dei 100 nm. Con uno stampo di 1 pollice quadrato inciso con una densità confrontabile ad un DVD, ovvero circa 5 Gbps, ed un tempo di stampaggio di 5-10 secondi, si potrebbero raggiungere velocità di scrittura per memorie non volatili pari 0.1-1 Gbit/s. Questa velocità di scrittura è superiore a qualsiasi tecnologia esistente ad oggi.

Sia nel caso statico che dinamico Il processo è stato osservato con i rotasssani e non con i rispettivi componenti

L.B. M.C. FZ DL

separati (filo e macrociclo). L'origine del particolare comportamento dei rotassani viene spiegato dal calcolo delle energie strutturali. La simulazione al calcolatore della energetica dei rotassani nello stato solido mostra che i rotassani esistono allo stato solido in più strutture caratterizzate da una minima differenza ( $<10 \text{ KJmol}^{-1}$ ) in energia. L'energia necessaria per la loro interconversione (ovvero l'energia dello stato di transizione EST) è dello stesso ordine di grandezza dell'energia di impaccamento EI (Esempio il rotassano 1:  $\text{EST}=200 \text{ KJmol}^{-1}$  ed EI  $230 \text{ KJmol}^{-1}$ ). In altre parole è dimostrato che i rotassani possono interconvertire nello stato solido esponendo alla superficie diverse superfici cristalline senza la distruzione della fase condensata. Il meccanismo di formazione delle nanostrutture è quindi il seguente:

- i) il film di rotassano è inizialmente amorfo.
- ii) la perturbazione meccanica fornisce l'energia affinché le molecole lungo una linea si organizzino in nuclei cristallini esponendo la superficie più stabile.
- iii) I cristalliti crescono incorporando i nuclei più piccoli e le molecole vicine entro una distanza minima, formando cristalliti più grandi.
- iv) le nanostrutture emergono quando l'ingrossamento dei cristalliti raggiunge una dimensione critica. Questo comporta anche la comparsa di una distanza caratteristica. Le nanostrutture si comp

L.B. M.C. FZ DL



incorporazione di molecole di elevata diffusività, che sono quelle stimulate lungo la linea.

E' importante sottolineare che solo le molecole soggette alla perturbazione contribuiscono al processo, per cui l'effetto della riorganizzazione è estremamente localizzato.

L.B. M.C. FZ J1

**RIVENDICAZIONI**

1. Processo per scrivere nanostrutture di dimensioni, periodicità e numero controllati su un film sottile di molecole bi-stabili per mezzo di uno stimolo esterno localizzato.
2. Processo secondo la rivendicazione 1, in cui l'informazione viene scritta e letta su un film sottile di molecole bistabili in forma di stringhe di nanostrutture.
3. Processo secondo la rivendicazione 1, in cui la periodicità e la dimensione delle nanostrutture è controllata dallo spessore del film.
4. Processo secondo le rivendicazioni 1-3 in cui il numero di nanostrutture è controllato dalla lunghezza della stringa su cui agisce la perturbazione.
5. Processo secondo la rivendicazione 1-4 per la fabbricazione di reticoli di nanostrutture.
6. Processo secondo le rivendicazioni 1- 4 in cui detto processo è usato per scrivere informazioni con una densità areale di 10- 100 Gbps
7. Processo secondo la rivendicazione 1 in cui lo stimolo esterno è di tipo meccanico, termico, termo-meccanico, elettrico, o luminoso.
8. Processo secondo le rivendicazione 1, 2 in cui lo stimolo esterno è effettuato con una punta di un microscopio a scansione di sonda, sia esso un microscopio a forza atomica

J.B. M.C. FZ DL

ad effetto tunnel, o ottico a campo prossimo od altra tecnica derivata da esso.

9. Processo secondo le rivendicazioni 1, 2 in cui lo stimolo esterno è effettuato con le punte multiple di un milleepiedi.
10. Processo secondo le rivendicazioni 1, 2 in cui lo stimolo esterno è effettuato con microscopio a scansione elettronico, oppure ottico confocale, o altre tecniche derivate.
11. Processo secondo le rivendicazioni 1, 2 in cui lo stimolo esterno è effettuato con uno stampo di materiale duro o soffice con controllo di pressione e/o temperatura.
12. Processo secondo la rivendicazione 1 in cui la scrittura dell'informazione è basata sulla multistabilità molecolare amplificata su scala supra-micrometrica tramite una riorganizzazione morfologica.
13. Processo secondo la rivendicazione 1 in cui le molecole bistabili vengono prese dal gruppo dei rotassani e loro film sottili.
14. Processo secondo la rivendicazione 1 in cui le molecole bistabili vengono prese dal gruppo dei catenani e loro film sottili.
15. Processo secondo la rivendicazione 1, 14, 15 in cui i film sottili vengono depositati o cresciuti per tecniche generiche da soluzione, oppure da fase vapore, sia da precursori, sia per sublimazione.

J.B. M.C. F2 DL

*Lele Orsini*  
*Massimiliano Cavallini*  
*David Leigh*  
*Francesco Zerbetto*



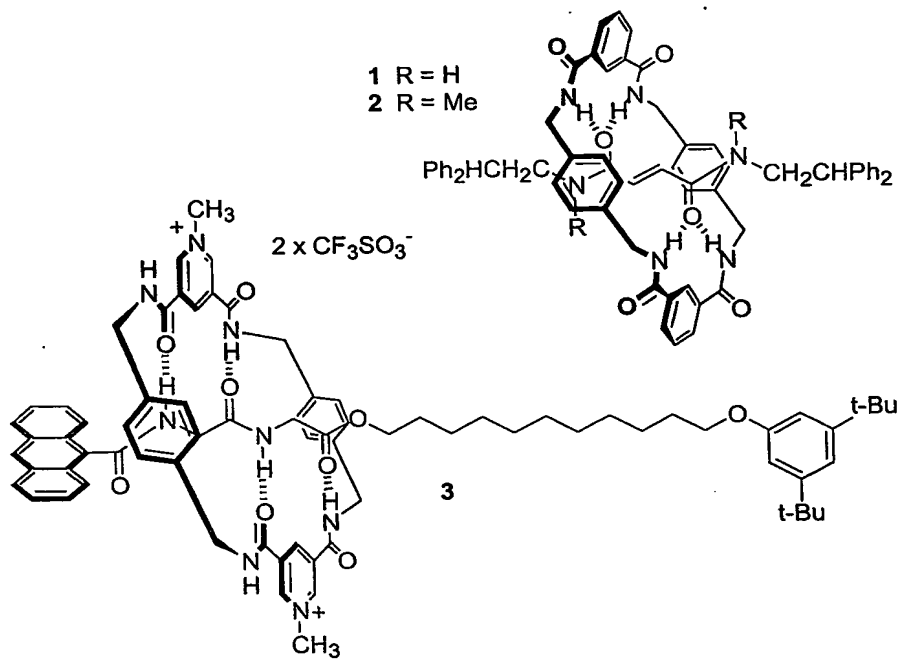
CAMERA DI COMMERCIO INDUSTRIA  
 AGRICOLTURA E ARTIGIANATO  
 UFFICIO GENERALE  
 IL FIDUCIARIO





B02002A 000009

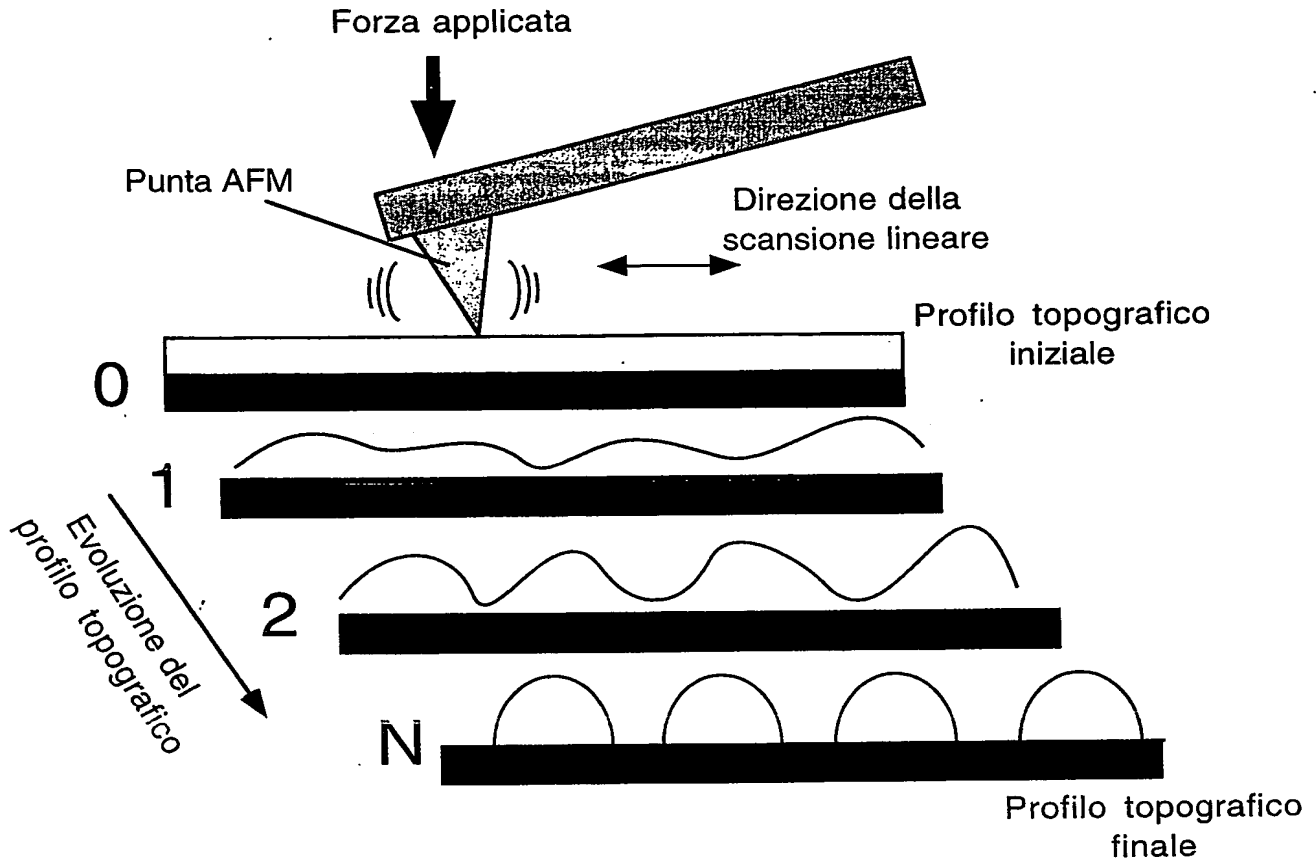
TAVOLA 1



I.B. M.L. FZ DL

TAVOLA 2

002002A 030759

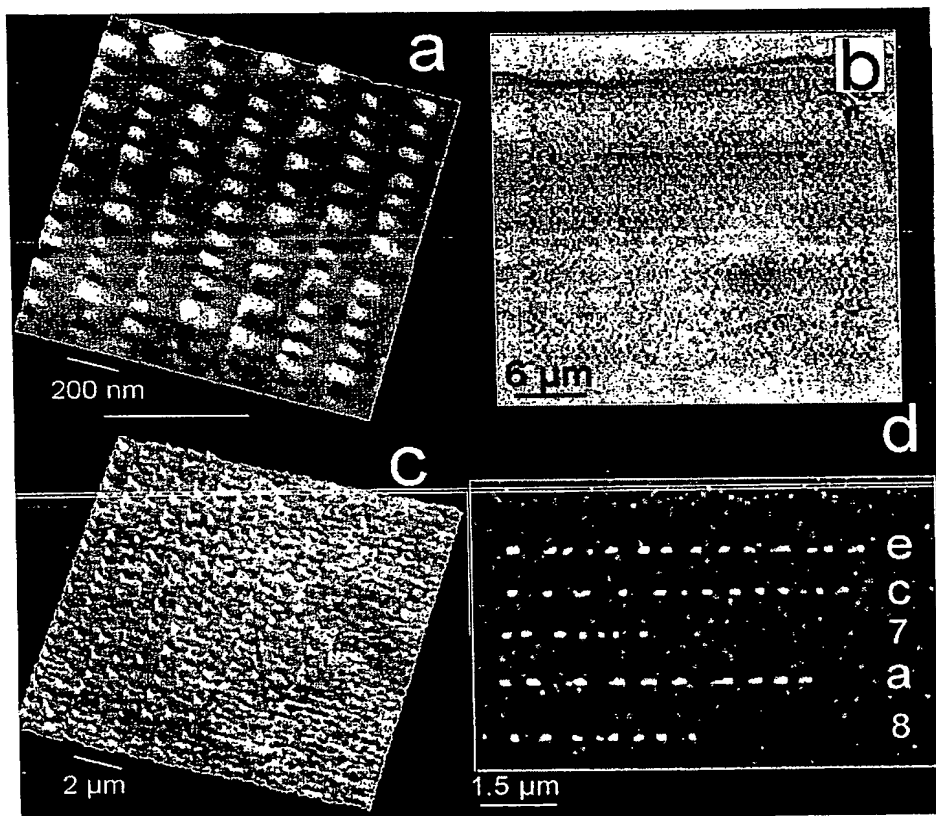


L.B. M.C. F2 DL

G

02802A

TAVOLA 3

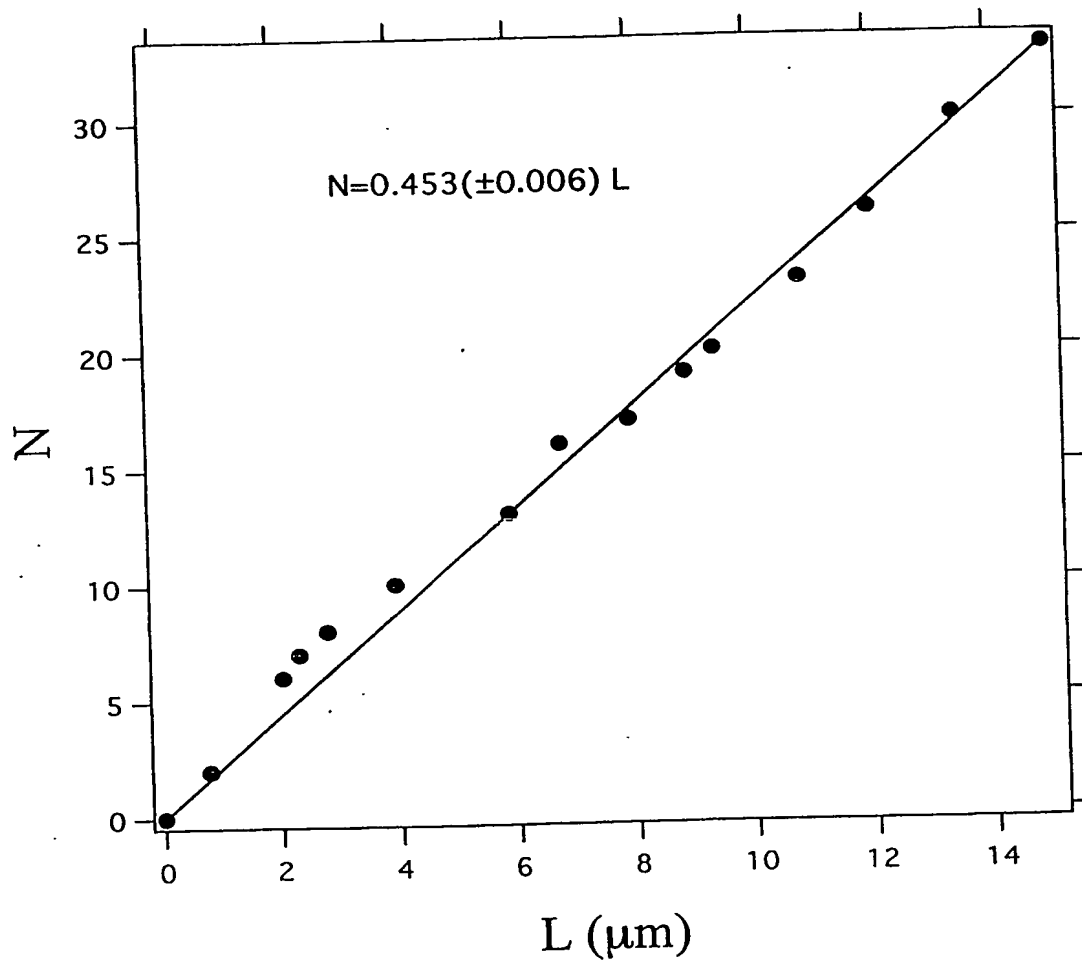


Y.B. M.C. F2 DL

AS

002002A 0.00759

Tav. 4

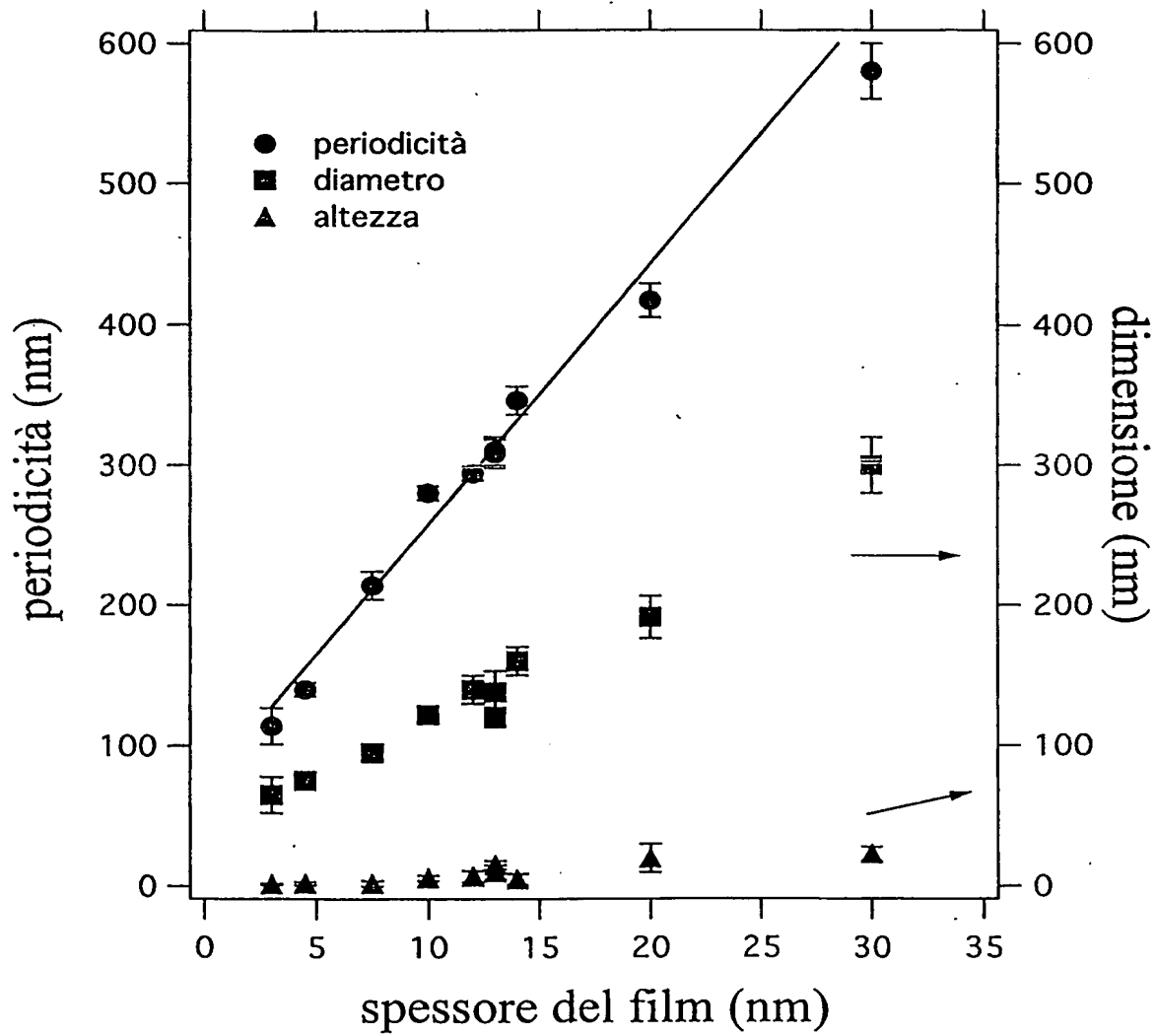


L.B. M.C. FZ DL



ag

Tav. 5

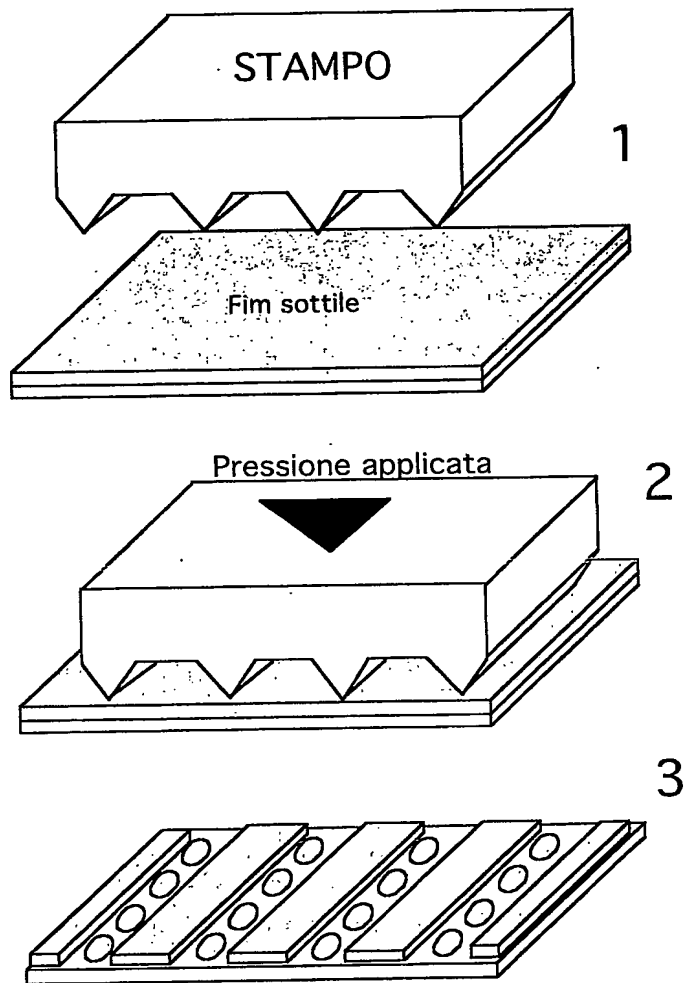


LB. M.C. F2 DL

S

BO...A 000759

TAVOLA 6

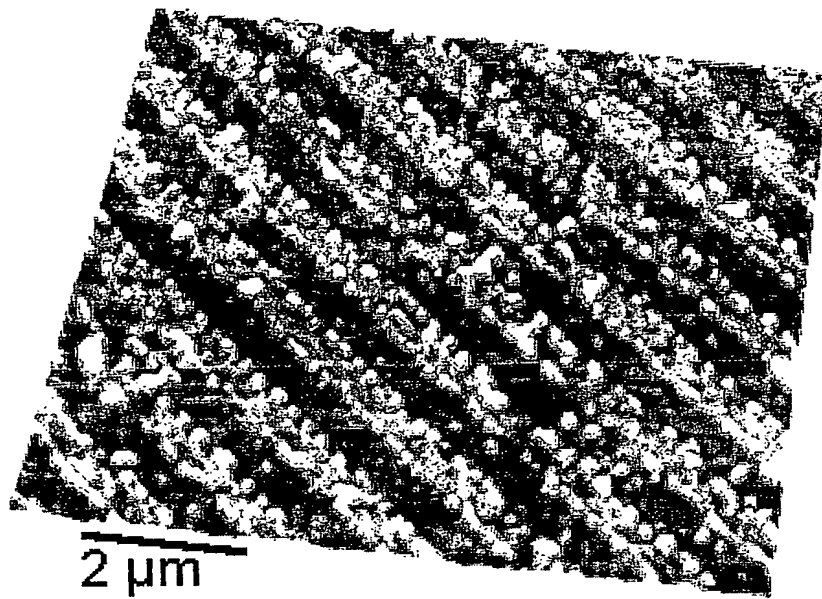


LB M.C. F2 9L



021004 5.00.

TAVOLA 7



I.B. M.C. F2 DL

ES

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**